This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

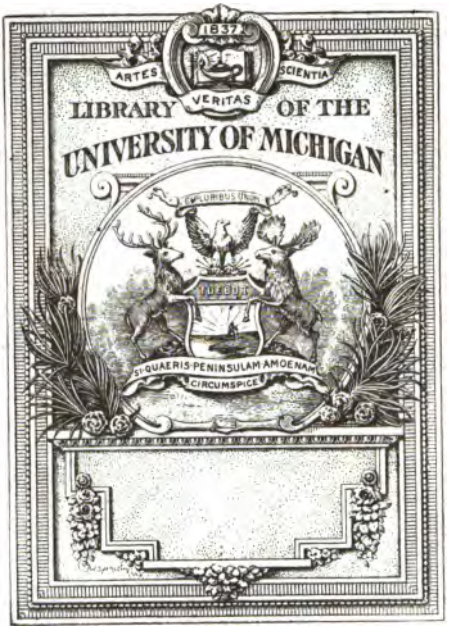
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

.QC
318
.C62

ÜBER DEN

ZWEITEN HAUPTSATZ

DER

MECHANISCHEN WÄRMETHEORIE.

ÜBER DEN

ZWEITEN HAUPTSATZ

DER

MECHANISCHEN WÄRMETHEORIE.

Ein Vortrag,

gehalten in einer allgemeinen Sitzung der 41. Versammlung
deutscher Naturforscher und Aerzte zu Frankfurt a. M.
am 23. September 1867

von

R. CLAUSIUS,

Professor der Physik an der Universität zu Würzburg.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1867.

Die Herausgabe einer Uebersetzung in französischer und englischer Sprache, sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Hochgeehrte Versammlung!

Da mir die ehrenvolle Aufforderung zu Theil geworden ist, in dieser allgemeinen Sitzung einen Vortrag zu halten, so habe ich geglaubt, als Thema nicht das Resultat irgend einer Specialuntersuchung wählen zu müssen, sondern einen Gegenstand von weitgreifendem Einflusse und allgemeinem Interesse. Ich will mir daher erlauben, eine kurze und möglichst leicht verständliche Auseinandersetzung des Satzes zu geben, welchen man den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie nennt, und welcher einen der beiden Grundpfeiler bildet, auf denen diese ganze Theorie ruht. Natürlich kann es sich dabei nicht darum handeln, diesen Satz in mathematischer Form darzustellen, einen strengen Beweis von seiner Richtigkeit zu liefern und seine mannichfaltigen Anwendungen einzeln zu verfolgen, sondern nur darum, seine Bedeutung und seinen Zusammenhang mit dem ersten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie in ein klares Licht zu stellen, und vielleicht an einigen Beispielen die Schlüsse, welche sich aus ihm ziehen lassen, zu erläutern.

Vor etwas mehr als zwanzig Jahren wurde bekanntlich, nachdem schon früher verschiedene Autoren vereinzelte und mehr allgemein gehaltene Aussprüche über denselben Gegenstand gethan hatten, von Mayer in Heilbronn bestimmt ausgesprochen und von Joule in Manchester durch experimentelle Untersuchungen bis zur Evidenz nachgewiesen, dass zwischen mechanischer Arbeit und Wärme ein Zusammenhang der Art stattfindet, dass sich durch Verbrauch von Wärme mechanische Arbeit gewinnen, und umgekehrt durch Verbrauch von Arbeit Wärme erzeugen lässt, wobei

274288

die Menge der Wärme zur Grösse der Arbeit in einem unter allen Umständen gleichen Verhältnisse steht. Dieser Satz, welcher der *Satz von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit* genannt wird, hat den Ausgangspunkt für die in neuerer Zeit so schnell vor sich gegangene Entwickelung der mechanischen Wärmetheorie gebildet.

Im Anschlusse an diesen Satz möchte ich mir gleich eine Bemerkung erlauben, welche dazu beitragen kann, die Auseinandersetzung des Folgenden zu erleichtern.

Wenn unter Verbrauch von Wärme Arbeit erzeugt oder unter Verbrauch von Arbeit Wärme erzeugt wird, so kann man dieses kurz so ausdrücken, dass sich Wärme in Arbeit oder Arbeit in Wärme verwandelt. Zwei solche Grössen, die sich in einander verwandeln können, und von denen daher die eine als Ersatz der anderen dienen kann, werden natürlich häufig neben einander betrachtet werden müssen, und es wird sich oft Gelegenheit bieten, beide Grössen, welche mathematisch als gleichartig anzusehen sind, zu einander zu addiren oder von einander zu subtrahiren. Dabei entsteht aber eine bedeutende Unbequemlichkeit aus dem Umstande, dass Wärme und Arbeit nach verschiedenen Maassen gemessen werden. Als Einheit der Arbeit dient bekanntlich das Product der Gewichtseinheit in die Längeneinheit, also z. B. nach französischen Maassen das Kilogramm-Meter und als Einheit der Wärme pflegt man die Wärmemenge zu betrachten, welche nöthig ist, um eine Gewichtseinheit Wasser von 0^0 auf 1^0 zu erwärmen. Bei Anwendung dieser Einheiten kann man nicht schlechtweg von der Summe von Wärme und Arbeit sprechen, sondern man muss, um die Summe zu bilden, entweder die Arbeit auf Wärmeeinheiten oder die Wärme auf Arbeitseinheiten reduciren. Man erhält dann immer complicirte Ausdrücke von folgender Art: „die Summe der Wärme und des Wärmeäquivalentes der Arbeit“ oder die „Summe der Arbeit und des Arbeitsäquivalentes der Wärme.“

Aus diesem Grunde habe ich vorgeschlagen, neben der Arbeit noch eine zweite Grösse einzuführen, welche zwar ebenfalls die Arbeit darstellt, aber nicht nach jenem mechanischen Maasse, sondern nach Wärmemaasse gemessen, also in der Weise ausgedrückt, dass dabei als Arbeitseinheit diejenige Arbeit gilt, welche der Wärmeeinheit äquivalent ist. Für die so bestimmte Arbeit habe ich den Namen *Werk* vorgeschlagen. Es gilt dann, wie bei der Arbeit, der Satz, dass sich Wärme in Werk und Werk in Wärme verwandeln kann, und zugleich hat man die einfache Beziehung, dass die Quantitäten von Wärme und Werk, welche sich in einander

verwandeln, und deren eine daher als Ersatz der anderen dienen kann, durch gleich grosse Zahlen ausgedrückt werden. Daraus folgt weiter, dass man aus Wärme und Werk Summen und Differenzen bilden kann, ohne dass dazu irgend eine Reduction des einen oder anderen nothwendig wäre.

Wir wollen daher im Folgenden immer statt der Arbeit das Werk für unsere Besprechungen wählen, und wollen demgemäss auch den ersten Hauptsatz den *Satz von der Aequivalenz von Wärme und Werk* nennen.

Dieser Satz ist, nachdem er einmal aufgestellt und experimentell bestätigt war, sehr schnell allgemein bekannt geworden, und man findet oft, dass er von Personen, die sich nur oberflächlich mit der mechanischen Wärmetheorie beschäftigt haben, für die einzige Grundlage dieser Theorie gehalten wird. Dieses drückt sich z. B. darin aus, dass die mechanische Wärmetheorie in Frankreich häufig *la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur* genannt wird. Und doch giebt es noch einen zweiten Satz, welcher in jenem Satze noch nicht mit enthalten ist, sondern besonders bewiesen werden muss, und welcher eben so wichtig ist, wie jener, indem beide Sätze zusammen erst die vollständige Grundlage der mechanischen Wärmetheorie bilden.

Dass dieser zweite Satz weniger bekannt ist, als der erste, und besonders in populären Auseinandersetzungen der mechanischen Wärmetheorie zuweilen ganz mit Stillschweigen übergangen wird, beruht hauptsächlich darauf, dass er viel schwerer verständlich ist, als der erste, indem bei seiner Auseinandersetzung Begriffe zur Sprache kommen, welche erst bei dieser Gelegenheit neu eingeführt sind, und Vorgänge ihrer Grösse nach unter einander verglichen werden müssen, welche man bisher nicht als mathematische Grössen betrachtet hat. Ich glaube aber, dass man, sobald man sich einmal an die hierbei nothwendige Betrachtungsweise gewöhnt hat, den zweiten Hauptsatz eben so einfach und natürlich finden wird, wie den ersten.

Ich will nun versuchen, die Vorgänge, um welche es sich hierbei handelt, in solcher Weise zu erläutern, dass die neue Art der Vergleichung sich von selbst als eine nothwendige ergiebt, und dadurch die Berechtigung des zweiten Hauptsatzes neben dem ersten deutlich hervortritt.

Untersucht man, unter welchen Umständen sich Wärme in Werk und umgekehrt Werk in Wärme verwandeln kann, so bietet sich zunächst folgender Vorgang als der gewöhnlichste und einfachste dar. Die Wärme, welche sich in den Körpern befindet, hat das Bestreben, den Zustand der Körper zu ändern. Sie sucht die Körper auszudehnen, feste Körper flüssig und luftförmig zu machen und, wie wir gleich hinzufügen können, chemische Verbindungen in ihre Elemente zu zerlegen. In allen diesen Fällen besteht die Wirkung der Wärme darin, den zwischen den Molekülen oder Atomen bestehenden Zusammenhang zu lockern oder vollständig zu lösen, und solche Moleküle, die schon in keinem Zusammenhange mehr stehen, noch möglichst weit von einander zu entfernen.

Um dieses kurz ausdrücken zu können, habe ich eine Grösse eingeführt, welche angiebt, wie weit bei einem Körper diese von der Wärme angestrebte Trennung und Entfernung seiner kleinsten Bestandtheile schon vollzogen ist, und welche ich die *Disgregation* des Körpers genannt habe. Die Disgregation eines Körpers ist also unter den drei Aggregatzuständen im festen Zustande am kleinsten, im flüssigen grösser und im luftförmigen am grössten. Im letzteren Zustande kann sie noch dadurch zunehmen, dass die Moleküle sich weiter von einander entfernen, also das Gas sich weiter ausdehnt. Ebenso ist die Zerlegung eines chemisch zusammengesetzten Körpers in seine Elemente im Allgemeinen mit einer Zunahme der Disgregation verbunden.

Mit Hülfe dieses Begriffes kann man die Wirkung der Wärme einfach dadurch ausdrücken, dass man sagt: *die Wärme sucht die Disgregation des Körpers zu vermehren.*

Um aber die Disgregation eines Körpers zu vermehren, müssen der Regel nach Widerstände überwunden werden, und zwar Widerstände von zweierlei Art. Erstens sind, um den Zusammenhang der Moleküle ganz oder theilweise aufzuheben, die Kräfte, mit welchen die Moleküle sich gegenseitig anziehen, zu überwinden, und zweitens kommen neben diesen inneren Kräften gewöhnlich auch noch fremde, von Aussen her auf den Körper wirkende Kräfte vor. Wenn z. B. ein Körper, welcher unter einem äusseren Drucke steht, sich ausdehnen soll, so muss dieser Druck, welcher der Volumenvermehrung entgegenwirkt, überwunden werden. Die Wärme muss also bei der Disgregationsvermehrung durch Ueberwindung der entgegenwirkenden Kräfte inneres und äusseres Werk thun. Zu diesem Werke wird Wärme verbraucht, und somit *findet bei der*

Disgregationsvermehrung eine Verwandelung von Wärme in Werk statt.

Umgekehrt muss, um die Disgregation zu vermindern, Werk (und zwar im Allgemeinen inneres und äusseres Werk) verbraucht werden, indem jene Kräfte, welche im vorigen Falle von der Wärme überwunden wurden, in diesem Falle ihrerseits die Wärme überwinden. Bei diesem Processe wird Wärme erzeugt, und man erhält daher das Resultat, *dass bei der Disgregationsverminderung sich Werk in Wärme verwandelt.*

Aus einem Grunde, von dem später noch die Rede sein soll, wollen wir vorläufig annehmen, dass alle Veränderungen, die wir betrachten, in solcher Weise stattfinden, dass die umgekehrten Veränderungen genau unter denselben Umständen vor sich gehen können. Diese Art von Veränderungen wollen wir kurz *umkehrbare* Veränderungen nennen. Unter Voraussetzung dieser Einschränkung kann man sagen, dass bei der Disgregationsvermehrung sich eben so viel Wärme in Werk verwandelt, wie bei der entsprechenden Disgregationsverminderung sich Werk in Wärme verwandelt.

Man ersieht aus dem Gesagten, dass zwischen Disgregationsveränderung einerseits und Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt andererseits ein causaler Zusammenhang stattfindet, der sich in irgend einer Weise als bestimmtes Gesetz aussprechen lassen muss. Um diesem Gesetze eine möglichst einfache Form zu geben, wollen wir noch eine gewisse Ausdrucksweise einführen.

Es wurde schon bisher der Vorgang, wenn unter Verbrauch von Wärme Werk erzeugt, oder unter Verbrauch von Werk Wärme erzeugt wird, eine *Verwandelung* genannt, indem gesagt wurde, es verwandele sich Wärme in Werk oder Werk in Wärme. Ebenso können wir auch die Disgregationsänderung eine *Verwandelung* nennen, nämlich eine Verwandelung der ursprünglich stattfindenden Anordnung der kleinsten Theilchen des Körpers in eine andere Anordnung.

Jede dieser beiden Verwandelungsarten kann in zwei entgegengesetzten Weisen stattfinden, die man durch Anwendung der Ausdrücke *positiv* und *negativ* unterscheiden kann. Wir wollen die Disgregationsvermehrung als positive und die Disgregationsverminderung als negative Verwandelung betrachten. Ferner möge die Verwandelung von Werk in Wärme als positive und die Verwandelung von Wärme in Werk als negative Verwandelung gelten.

Kehren wir nun zu den oben betrachteten Vorgängen zurück,

so sehen wir, dass bei der Disgregationsvermehrung eines Körpers (welche eine positive Verwandelung ist) gleichzeitig eine Verwandelung von Wärme in Werk (also eine negative Verwandelung) stattfindet, und ebenso bei der negativen Disgregationsverminderung eine positive Verwandelung von Werk in Wärme. Hieraus ergiebt sich als erstes Resultat, *dass in beiden Fällen gleichzeitig eine positive und eine negative Verwandelung eintritt.*

Es kommt aber bei den Verwandelungen nicht bloss das Vorzeichen, sondern auch die Grösse in Betracht. Die Disgregation eines Körpers kann sich mehr oder weniger verändern und desgleichen kann mehr oder weniger Wärme sich in Werk verwandeln oder aus Werk hervorgehen. Unter gehöriger Berücksichtigung dieser Verschiedenheiten kann man, wenn vorher die Art, wie die Verwandelungen gemessen werden sollen, näher festgesetzt ist, jede Verwandelung ihrem Werthe nach durch eine bestimmte mathematische Grösse darstellen, welche wir den *Aequivalenzwerth* der Verwandelung nennen wollen.

In Bezug auf diese Aequivalenzwerthe möge nun die Frage aufgeworfen werden, ob sie sich in solcher Weise bestimmen lassen, dass bei jeder umkehrbaren Veränderung eines Körpers die gleichzeitig stattfindende positive und negative Verwandelung ihren absoluten Werthen nach gleich sind.

Damit die Erfüllung dieser Bedingung möglich sei, muss bei der Bestimmung des Aequivalenzwerthes einer Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt noch ein Element berücksichtigt werden, von dem bisher noch nicht die Rede gewesen ist. Es wird dieses am klarsten werden, wenn wir beispielsweise ein vollkommenes Gas als denjenigen Körper wählen, durch dessen Veränderung jene Verwandelung bewirkt werden soll.

Es sei eine Quantität eines vollkommenen Gases gegeben, welche ein gewisses Volumen einnimmt. Wenn dieses Gas sich bis zu einem anderen, z. B. bis zum doppelten Volumen ausdehnt, so findet dabei eine durch das Anfangs- und Endvolumen vollkommen bestimmte Zunahme der Disgregation statt. Zugleich verwandelt sich bei der Ausdehnung Wärme in Werk. Da nun bei einem vollkommenen Gase kein inneres Werk vorkommt, weil die Moleküle schon so weit von einander entfernt sind, dass ihre gegenseitige Einwirkung vernachlässigt werden kann, so haben wir es nur mit dem äusseren Werke zu thun, welches bei Ueberwindung des äusseren Druckes gethan wird, also mit einem Werke, welches sich seinern Grösse nach leicht angeben lässt. Die zu diesem Werke

verbrauchte Wärme muss dem Gase, wenn seine Temperatur constant bleiben soll, von Aussen her mitgetheilt werden.

Nun wollen wir annehmen, derselbe Vorgang, dass das Gas sich von dem ursprünglich gegebenen Volumen bis zum doppelten Volumen ausdehnt, finde noch einmal bei höherer Temperatur statt. Dann ist der Druck des Gases stärker, und zwar in dem Verhältnisse, wie die jetzige absolute Temperatur höher ist, als die vorige. Im gleichen Verhältnisse ist daher auch das gethane Werk und die dazu verbrauchte Wärme grösser. Es wird also in diesem Falle, obwohl wir es mit derselben Disgregationszunahme zu thun haben, mehr Wärme in Werk verwandelt, als im ersten Falle.

Die Aequivalenzwerthe der in den beiden Fällen stattfindenden Verwandelungen von Wärme in Werk müssen aber unter einander gleich sein, da sie beide ihrer absoluten Grösse nach dem Aequivalenzwerthe einer und derselben Disgregationsänderung gleich sein sollen. Hieraus folgt, dass der Aequivalenzwerth einer Verwandelung von Wärme in Werk nicht bloss von der Quantität der verwandelten Wärme, sondern auch von ihrer Temperatur abhängt, und zwar muss man, um in den beiden obigen Fällen gleiche Aequivalenzwerthe zu erhalten, die Wärmemengen durch die betreffenden absoluten Temperaturen dividiren.

Hierdurch ist die Art, wie die Aequivalenzwerthe der Verwandelungen von Wärme in Werk oder umgekehrt von Werk in Wärme zu bestimmen sind, vollständig festgestellt. Fassen wir das über das Vorzeichen und die absolute Grösse Gesagte noch einmal kurz zusammen, so erhalten wir folgende Regel: *Um den Aequivalenzwerth einer Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt zu bilden, hat man die Wärmemenge, jenachdem sie aus Werk entsteht oder sich in Werk verwandelt, positiv oder negativ zu nehmen, und sie durch die betreffende absolute Temperatur zu dividiren.*

Was nun ferner die Disgregation in Bezug auf ihren Aequivalenzwerth anbetrifft, so ist es nicht nöthig, hier näher darauf einzugehen, wie die vollständige Bestimmung derselben geschehen kann, sondern es genügt in dieser Beziehung, einen allgemeinen Satz anzuführen, welcher das eigentlich Wesentliche dieser Bestimmung und zugleich das Hauptresultat der Untersuchungen, soweit sie sich auf den bis jetzt von uns betrachteten Gegenstand beziehen, enthält. Dieser Satz, bei welchem in Bezug auf den Aequivalenzwerth der Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt die obige Regel als maassgebend vorausgesetzt ist, lautet: *Die Disgregation jedes Körpers lässt sich in solcher Weise bestim-*

men, dass sie eine Grösse ist, welche nur von dem augenblicklichen Zustande des Körpers und nicht von der Art, wie er in diesen Zustand gelangt ist, abhängt, und zugleich die Bedingung erfüllt, dass für jede umkehrbare Veränderung eines Körpers die dabei eintretende Disgregationsänderung und die gleichzeitig stattfindende Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt gleiche und entgegengesetzte Aequivalenzwerthe haben, so dass ihre algebraische Summe Null ist.

Von zwei gleichzeitig vorkommenden Verwandelungen, welche den Vorzeichen nach entgegengesetzt und den absoluten Werthen nach gleich sind, so dass sie als algebraische Summe Null geben, kann man sagen, dass sie sich gegenseitig *compensiren*, und das Vorige lässt sich daher kürzer so aussprechen: *Die bei irgend einer umkehrbaren Veränderung eines Körpers vorkommenden beiden Verwandelungen compensiren sich gegenseitig.*

Bisher haben wir unser Augenmerk nur auf zwei Arten von Verwandelungen gerichtet; es muss aber noch eine dritte Art betrachtet werden.

Es möge wieder irgend ein Körper gegeben sein, dessen Zustand sich ändert, aber es soll jetzt angenommen werden, dass nicht bloss eine einzelne Zustandsänderung stattfindet, sondern eine Reihe von Zustandsänderungen, welche so angeordnet sind, dass der Körper schliesslich wieder in seinen Anfangszustand zurückkommt, dass er also einen *Kreisprocess* durchmacht.

Wenn der Körper sich schliesslich wieder in seinem Anfangszustande befindet, so ist auch seine schliessliche Disgregation gleich der anfänglichen, und man kann also, wenn man den Kreisprocess im Ganzen betrachtet, sagen, dass durch denselben keine Disgregationsänderung eingetreten ist. Dessenungeachtet kann sich dabei Wärme in Werk oder Werk in Wärme verwandelt haben.

Denken wir uns, die Zustandsänderungen des Körpers, aus denen der Kreisprocess besteht, seien mit Volumenänderungen verbunden, indem der Körper sich bei einer Temperatur ausdehne und bei einer anderen Temperatur wieder zusammengedrückt werde, so ist, wenn die Ausdehnung bei höherer Temperatur stattfindet, als die Zusammendrückung, das Werk, welches bei der Ausdehnung gethan wird, grösser als dasjenige, welches bei der Zusammendrückung verbraucht wird, und es bleibt also im Ganzen ein Ueberschuss an gethanem Werke, wozu natürlich eine entsprechende Menge Wärme verbraucht sein muss. Sollte der Kreisprocess in umgekehrter Weise ausgeführt sein, so dass die Ausdehnung bei niederer Temperatur stattfand, als die Zusammendrückung, so ist

das bei der Zusammendrückung verbrauchte Werk grösser, als das bei der Ausdehnung gethane, und es bleibt somit ein Ueberschuss an verbrauchtem Werke, wodurch eine entsprechende Menge Wärme erzeugt sein muss.

Es findet also durch den Kreisprocess, je nach dem Sinne, in welchem er ausgeführt wird, entweder eine Verwandelung von Wärme in Werk oder eine Verwandelung von Werk in Wärme statt, und es fragt sich nun, ob diese Verwandelung für sich allein dasteht, oder ob sie, ebenso wie bei dem früher betrachteten einfacheren Vorgange, von einer anderen Verwandelung begleitet ist, die als Compensation dient.

Wir wollen zunächst beispielsweise den Fall voraussetzen, wo die Ausdehnung bei höherer Temperatur stattfindet, als die Zusammendrückung. Bei der Ausdehnung muss dem Körper, um seine Temperatur auf der ursprünglichen Höhe zu erhalten, von Aussen her, also von irgend einem fremden Körper, welcher A heissen möge, Wärme mitgetheilt werden, welche als Ersatz für die bei der Ausdehnung zu Werk verbrauchte Wärme dient. Wenn dann im weiteren Verlaufe des Kreisprocesses die Temperatur unseres veränderlichen Körpers erniedrigt ist, und er bei der tieferen Temperatur zusammengedrückt wird, so muss er, um bei der Zusammendrückung die tiefe Temperatur zu behalten, nach Aussen hin, also an einen fremden Körper von tiefer Temperatur, welcher B heissen möge, die Wärme abgeben, welche bei der Zusammendrückung durch Werk erzeugt wird.

Die letztere Wärmemenge, welche bei der Zusammendrückung durch Werk erzeugt und an den Körper B abgegeben wird, ist dem Obigen nach nicht ganz so gross wie die, welche bei der Ausdehnung dem Körper A entzogen und zu Werk verbraucht wird. Der Ueberschuss der letzteren Wärmemenge über die erstere ist durch den Kreisprocess bleibend in Werk verwandelt. Von dem anderen Theile der dem Körper A entzogenen Wärme dagegen, nämlich von dem Theile, welcher zwar zuerst in Werk, nachher aber wieder aus Werk in Wärme verwandelt und als solche dem Körper B abgegeben wurde, kann man sagen, dass er durch den Kreisprocess von dem Körper A von höherer Temperatur nach dem Körper B von niederer Temperatur übergeführt ist.

Das Endresultat des Kreisprocesses ist also ein doppeltes. Eine gewisse Wärmemenge ist bleibend in Werk verwandelt, und eine andere Wärmemenge ist aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergegangen.

Würde man den Kreisprocess umgekehrt ausgeführt haben, so wäre das Endresultat gewesen, dass Werk in Wärme verwandelt und gleichzeitig eine andere Wärmemenge aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergegangen wäre.

Man sieht also, dass auch bei einem Kreisprocesse die Verwandelung von Wärme in Werk oder von Werk in Wärme nicht für sich allein vorkommt, sondern mit einem anderen Acte, nämlich dem Uebergange von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteteren Körper oder aus einem kälteren in einen wärmeren Körper verbunden ist, und es liegt nun nahe, diesen Wärmeübergang als Compensation jener Verwandelung anzusehen.

Um auch in der Ausdrucksweise eine Uebereinstimmung mit dem früher betrachteten Falle zu erhalten, wollen wir den Uebergang von Wärme aus einem Körper von einer Temperatur in einen Körper von einer anderen Temperatur ebenfalls eine Verwandelung nennen, indem wir sagen, es habe sich Wärme von einer Temperatur in Wärme von einer anderen Temperatur verwandelt. Dabei wollen wir den Uebergang von höherer zu niederer Temperatur als positive und den Uebergang von niederer zu höherer Temperatur als negative Verwandelung annehmen. Dann können wir das für Kreisprocesse gefundene Resultat so aussprechen, dass auch hier eine positive und eine negative Verwandelung zugleich vorkommen, nämlich die negative Verwandelung von Wärme in Werk und der positive Wärmeübergang von höherer zu niederer Temperatur, oder die positive Verwandelung von Werk in Wärme und der negative Wärmeübergang von niederer zu höherer Temperatur.

Bei speciellerer Untersuchung des Gegenstandes ergiebt sich ferner, dass der Aequivalenzwerth des Wärmeüberganges sich in der Weise bestimmen lässt, dass die beiden in einem umkehrbaren Kreisprocesse gleichzeitig vorkommenden Verwandelungen von entgegengesetzten Vorzeichen stets ihren absoluten Werthen nach gleich sind, so dass sie sich in der algebraischen Summe gegenseitig aufheben. Der so bestimmte Aequivalenzwerth des Wärmeüberganges von einer Temperatur zu einer anderen ist sehr leicht anzugeben, indem er derselbe ist, den man unter der Voraussetzung, dass die Wärme sich bei der einen Temperatur in Werk verwandelt hätte, und bei der anderen Temperatur wieder aus Werk entstanden wäre, als Gesammtwerth dieser doppelten Verwandelung erhalten würde.

Indem wir nun die drei besprochenen Verwandelungsarten, nämlich die Disgregationsveränderung, die Verwandelung von

Wärme in Werk oder umgekehrt und endlich den Wärmeübergang gemeinsam in Betracht ziehen, können wir einen Satz aufstellen, der sich nicht mehr bloss auf eine einfache Zustandsänderung eines Körpers, oder auf eine solche Reihe von Zustandsänderungen, die einen Kreisprocess bilden, bezieht, sondern für jede beliebige in umkehrbarer Weise vor sich gehende Reihe von Zustandsänderungen eines oder mehrerer Körper gilt. Dieses ist der Satz, welcher als der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie bekannt ist, und dessen Erläuterung den Zweck der obigen Betrachtungen bildete. Er lautet folgendermaassen:

Bei jedem noch so complicirten Processe, bei welchem ein oder mehrere Körper beliebige umkehrbare Veränderungen erleiden, muss die algebraische Summe aller vorkommenden Verwandelungen gleich Null sein.

Man sieht sofort, dass zwischen diesem Satze und dem ersten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie eine grosse Aehnlichkeit herrscht. Nach dem ersten Hauptsatze stehen Wärme und Werk in solcher Beziehung zu einander, dass man, um Werk zu erzeugen, eine gleiche Menge Wärme verbrauchen, und um Wärme zu erzeugen, eine gleiche Menge Werk verbrauchen muss. Nun lassen sich Erzeugung und Verbrauch in der Weise in Einen Begriff zusammenfassen, dass Verbrauch als negative Erzeugung gilt. Man kann daher die vorige Beziehung so ausdrücken: *die algebraische Summe von Wärme- und Werkerzeugung ist in jedem Processe gleich Null*, und ganz dem entsprechend sagt der zweite Hauptsatz aus, *dass die algebraische Summe der Verwandelungen gleich Null ist.*

Wenn man daher den ersten Satz den *Satz von der Aequivalenz von Wärme und Werk* nennt, so ist es eine natürliche Consequenz, den zweiten Satz den *Satz von der Aequivalenz der Verwandelungen* zu nennen.

Dieser zweite Satz lässt sich mathematisch durch eine eben so einfache Gleichung darstellen, wie der erste, und diese beiden Gleichungen sind die Fundamentalgleichungen, aus denen alle weiteren Gleichungen, welche die mechanische Wärmetheorie liefern kann, abgeleitet werden müssen.

Wenn schon die den ersten Satz ausdrückende Gleichung für sich allein zu einer grossen Reihe wichtiger Schlüsse Veranlassung geben konnte, so ersieht man leicht, dass durch die Hinzufügung der zweiten Gleichung die Fruchtbarkeit der Theorie noch bedeutend erhöht werden muss, indem nicht nur die zweite Gleichung für sich ebenso, wie die erste, zu neuen Schlüssen führen kann,

sondern auch aus der Vereinigung beider Gleichungen noch Gleichungen von anderer Form hervorgehen können, welche sich abermals zu Schlüssen benutzen lassen.

In der That sind auch schon eine Reihe wichtiger Resultate durch die Anwendungen des zweiten Hauptsatzes gewonnen. Ich erinnere beispielsweise an die Bestimmung des Volumens der gesättigten Dämpfe, an die Bestimmung der Menge des Dampfes, welche sich niederschlägt, wenn gesättigter Dampf sich in einer für Wärme undurchdringlichen Hülle ausdehnt, und an die grosse Umgestaltung, welche die Dampfmaschinenlehre und überhaupt die Lehre von den thermodynamischen Maschinen durch die mechanische Wärmetheorie erfahren hat, woran der zweite Hauptsatz mindestens eben so sehr betheiligt ist, wie der erste. In gleicher Weise könnte ich auch aus anderen Gebieten der Physik noch viele und erhebliche Resultate anführen, welche aus diesem Satze hervorgegangen sind, und die Zahl derselben wird unzweifelhaft bei weiter ausgedehnter Anwendung des Satzes noch immer grösser werden. Die beiden Hauptsätze greifen in den mit Hülfe der mechanischen Wärmetheorie ausgeführten Untersuchungen so vielfach und so eng ineinander, dass ohne Kenntniss des zweiten Hauptsatzes nur wenige dieser Untersuchungen verständlich sind.

Vorher wurde gesagt, dass die beiden Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie einander sehr ähnlich seien. Nun muss ich aber die Aufmerksamkeit noch auf einen wesentlichen Unterschied lenken, welcher ein sehr merkwürdiges Verhalten aller Naturprocesse erkennen lässt.

Wir haben bei den vorigen Betrachtungen, aus denen wir den zweiten Hauptsatz ableiteten, immer die Bedingung gestellt, dass alle vorkommenden Veränderungen *umkehrbar* seien, d. h. dass sie in solcher Weise stattfinden, dass auch die entgegengesetzten Veränderungen unter gleichen Umständen geschehen können. Wir müssen uns nun die Frage stellen, zu welchem Resultate wir gelangen, wenn wir diese Bedingung fallen lassen.

Es möge zunächst die Disgregationsänderung eines Körpers untersucht werden, und zwar wollen wir die Betrachtung wieder an ein vollkommenes Gas knüpfen, welches sein Volumen ändert.

Wenn ein Gas sich ausdehnt, und es dabei in jedem Augenblicke einen so grossen äusseren Druck überwindet, wie es seiner

Expansivkraft nach gerade überwinden kann, so dass immer Kraft und Gegenkraft einander gleich sind, oder wenigstens der Ueberschuss der einen über die andere so klein ist, dass er vernachlässigt werden darf, dann kann das Gas unter Anwendung derselben äusseren Kraft, welche es bei der Ausdehnung überwand, auch wieder zusammengedrückt werden, wobei alle Erscheinungen in umgekehrter aber sonst gleicher Weise stattfinden. Diese Art der Ausdehnung des Gases ist also umkehrbar.

Nun kann aber das Gas sich auch in anderer Weise ausdehnen. Denken wir uns ein Gefäss, in welchem das Gas enthalten ist, und nehmen an, dieses Gefäss werde plötzlich mit einem leeren Gefässe in Verbindung gesetzt, so wird ein Theil des Gases in das leere Gefäss überströmen, bis der Druck in beiden Gefässen gleich ist. Dann hat das Gas sich ausgedehnt, ohne irgend eine äussere Kraft zu überwinden. Man kann aber nicht das Gas wieder in sein früheres Volumen zurückbringen, ohne eine äussere Kraft anzuwenden. Diese Art der Ausdehnung hat also in nicht umkehrbarer Weise stattgefunden.

Das Endresultat der Ausdehnung ist in beiden Fällen insofern gleich, als die Disgregation des Gases sich in einem gewissen Grade vermehrt hat; aber in dem einen Falle, wo ein Widerstand zu überwinden war, verwandelte sich Wärme in Werk, während in dem anderen Falle, wo kein Widerstand zu überwinden war, kein Werk gethan und daher auch keine Wärme in Werk verwandelt wurde. Wenn dagegen das Gas wieder zusammengedrückt, also seine Disgregation vermindert werden soll, so ist das nicht anders möglich, als dass dabei Werk in Wärme verwandelt wird. Da nun die Verwandelung von Werk in Wärme eine positive und die Verwandelung von Wärme in Werk eine negative Verwandelung ist, so kann man jenes Ergebniss so ausdrücken: die Disgregationsverminderung, welche eine negative Verwandelung ist, kann nicht ohne eine gleichzeitige positive Verwandelung stattfinden; die Disgregationsvermehrung dagegen, welche eine positive Verwandelung ist, kann möglicherweise ohne negative Verwandelung geschehen.

Betrachten wir nun, wie die zweite Verwandelungsart, nämlich die Verwandelung von Wärme in Werk oder umgekehrt, sich in dieser Beziehung verhält.

Um Wärme in Werk zu verwandeln, muss, wie wir früher gesehen haben, entweder eine Disgregationsvermehrung stattfinden, oder, wenn dieses nicht der Fall ist, was bei Kreisprocessen vorkommt, so muss eine gewisse andere Wärmemenge aus einem

wärmeren in einen kälteren Körper übergehen. Da nun die Disgregationsvermehrung und der Wärmeübergang aus einem wärmeren in einen kälteren Körper positive Verwandelungen sind, so folgt daraus, dass die negative Verwandelung von Wärme in Werk nothwendig mit einer gleichzeitigen positiven Verwandelung verbunden sein muss.

Dagegen kann die positive Verwandelung von Werk in Wärme sehr wohl ohne gleichzeitige negative Verwandelung stattfinden. Wenn z. B. eine Kraft dazu verwendet wird, einen Reibungswiderstand zu überwinden, so entsteht dabei Wärme, und es wird also Werk in Wärme verwandelt, ohne dass irgend eine negative Verwandelung dabei einzutreten braucht. Ebenso, wie der Reibungswiderstand, verhält sich auch der Luftwiderstand und der Leitungswiderstand, den ein elektrischer Strom in einem Leiter zu überwinden hat.

Man kann daher für die zweite Verwandelungsart wieder den Satz aussprechen, dass die negative Verwandelung aus Wärme in Werk nicht ohne gleichzeitige positive Verwandelung, wohl aber die positive Verwandelung aus Werk in Wärme ohne gleichzeitige negative Verwandelung stattfinden kann.

Endlich haben wir noch die dritte Verwandelungsart, den Wärmeübergang von einer Temperatur zu einer anderen zu betrachten.

Um Wärme aus einem kälteren in einen wärmeren Körper überzuführen, muss nothwendig in demselben Processe eine positive Verwandelung stattfinden, wie wir ja oben bei Kreisprocessen gesehen haben, dass jener Wärmeübergang eine Verwandelung von Werk in Wärme erfordert. Der umgekehrte Wärmeübergang aus einem wärmeren in einen kälteren Körper kann dagegen ganz von selbst geschehen, was z. B. der Fall ist, wenn die Wärme durch Leitung oder Strahlung aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergeht.

Also auch hier, wie in den beiden anderen Fällen, kann die negative Verwandelung nicht ohne positive, wohl aber die positive Verwandelung ohne negative stattfinden.

Wir haben früher von zwei der Grösse nach gleichen und den Vorzeichen nach entgegengesetzten Verwandelungen gesagt, sie *compensiren* einander. Demgemäss können wir nun in Bezug auf alle drei Verwandelungsarten den Satz aussprechen: *negative Verwandelungen können nur mit Compensation, positive aber können*

auch ohne Compensation stattfinden, oder noch kürzer: *uncompensirte Verwandelungen können nur positiv sein.*

Dieses eigenthümliche Verhalten macht sich bei allen in der Natur vorkommenden Veränderungen geltend, indem der Fall, wo eine Veränderung vollkommen umkehrbar und daher die Summe der bei ihr vorkommenden Verwandelungen gerade Null ist, nur den Grenzfall unter unendlich vielen möglichen Fällen bildet, so wie Null die untere Grenze aller positiven Grössen ist. Wenn man unter Berücksichtigung dieses Verhaltens das Weltall im Ganzen betrachtet, so gelangt man zu einem merkwürdigen Schlusse.

Man hört häufig sagen, in der Welt sei Alles Kreislauf. Während an Einem Orte und zu Einer Zeit Veränderungen in Einem Sinne stattfinden, gehen an anderen Orten und zu anderen Zeiten auch Veränderungen im entgegengesetzten Sinne vor sich, so dass dieselben Zustände immer wiederkehren, und im Grossen und Ganzen der Zustand der Welt unverändert bleibe. Die Welt könne daher ewig in gleicher Weise fortbestehen.

Als der erste Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie aufgestellt wurde, konnte man darin vielleicht eine gewichtige Bestätigung dieser Ansicht erblicken. Wir sprachen bisher, wenn von diesem Satze die Rede war, nur von Wärme und Werk. Dabei ist aber zu bemerken, dass man in dem Worte „Wärme" schon das Licht als mit einbegriffen betrachten kann, und dass der Begriff „Werk" ein sehr viel umfassender ist. Die chemische Action, die Wirkungen elektrischer und magnetischer Kräfte, das Entstehen und Vergehen von Bewegungen, seien es fortschreitende, rotirende oder schwingende Bewegungen ponderabler Massen, oder seien es elektrische Bewegungen, können, soweit sie hierbei in Betracht kommen, als Werk dargestellt werden. Wir haben es also mit einem für alle Naturerscheinungen geltenden Satze zu thun.

Helmholtz, welcher diese allgemeine Bedeutung des Satzes sofort erkannte und sie in seiner auf diesen Gegenstand bezüglichen schönen Schrift durch Anwendung des Satzes auf die verschiedenen Gebiete der Physik klar und überzeugend nachwies, gab dem Satze in dieser weitesten Ausdehnung den Namen: *Satz von der Erhaltung der Kraft*, wofür man vielleicht noch etwas zweckmässiger sagen kann: *Satz von der Erhaltung der Energie.*

Man kann ihm für den Zweck, wo er ein allgemeines Grundgesetz des Weltalls ausdrücken soll, etwa folgende Fassung geben:

Es kann sich zwar eine Form der Energie in eine andere Form der Energie verwandeln, aber dabei geht an der Quantität der Energie nie etwas verloren, sondern die gesammte in der Welt vorhandene Energie ist eben so constant, wie die gesammte Menge des in der Welt vorhandenen Stoffes.

Obwohl die Richtigkeit dieses Satzes unzweifelhaft ist, und er in der That in einer gewissen sehr wichtigen Beziehung die Unveränderlichkeit des Weltalls ausdrückt, so würde man doch zu weit gehen, wenn man annehmen wollte, dass er eine Bestätigung der Ansicht liefere, nach welcher der ganze Zustand des Weltalls unveränderlich und im ewigen Kreislaufe begriffen sein soll. Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie widerspricht dieser Ansicht auf das Bestimmteste.

Wie oben gesagt, gilt für alle unendlich mannichfaltigen in der Welt vor sich gehenden Veränderungen die gemeinsame Regel, dass die dem Sinne nach entgegengesetzten Verwandelungen nicht in gleicher Menge vorzukommen brauchen, dass aber der Unterschied immer nur in einem bestimmten Sinne stattfinden kann, nämlich so, dass die positiven Verwandelungen über die negativen überwiegen. Daraus folgt, dass der Zustand der Welt sich allmälig mehr und mehr in einem gewissen Sinne ändern muss.

Das Werk, welches die Naturkräfte thun können, und welches in den vorhandenen Bewegungen der Weltkörper enthalten ist, wird sich allmälig mehr und mehr in Wärme verwandeln. Die Wärme, indem sie stets von wärmeren zu kälteren Körpern übergehen und dadurch die vorhandenen Temperaturdifferenzen auszugleichen sucht, wird allmälig eine immer gleichmässigere Vertheilung annehmen, und es wird auch zwischen der im Aether vorhandenen strahlenden Wärme und der Wärme, welche sich in den Körpern befindet, ein gewisses Gleichgewicht eintreten. Endlich werden die Körper in Bezug auf ihre Molekularanordnung einem gewissen Zustande sich nähern, wo, in Anbetracht der herrschenden Temperatur, die Gesammtdisgregation eine möglichst grosse ist.

Ich habe diesen ganzen Vorgang durch einen einfachen Satz auszudrücken gesucht, durch welchen der Zustand, dem die Welt allmälig entgegengeht, bestimmt charakterisirt wird. Ich habe eine Grösse gebildet, welche in Bezug auf die Verwandelungen das Entsprechende darstellt, wie die Energie in Bezug auf Wärme und Werk, nämlich die Summe aller Verwandelungen welche stattfinden mussten, um einen Körper oder einen Complex von Körpern in seinen gegenwärtigen Zustand zu bringen. Diese Grösse habe

ich die *Entropie* genannt. In allen Fällen nun, wo die positiven Verwandelungen grösser sind, als die negativen, entsteht eine Vermehrung der Entropie. Man muss also schliessen, dass bei allen Naturerscheinungen der Gesammtwerth der Entropie immer nur zunehmen und nie abnehmen kann, und erhält somit als kurzen Ausdruck des überall und beständig vor sich gehenden Umwandelungsprocesses den Satz:

Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.

Je mehr die Welt sich diesem Grenzzustande, wo die Entropie ein Maximum ist, nähert, desto mehr nehmen die Veranlassungen zu weiteren Veränderungen ab, und wenn dieser Zustand endlich ganz erreicht wäre, so würden auch keine weiteren Veränderungen mehr vorkommen, und die Welt würde sich in einem todten Beharrungszustande befinden.

Wenn auch der gegenwärtige Zustand der Welt noch sehr weit von diesem Grenzzustande entfernt ist, und wenn auch die Annäherung an denselben so langsam geschieht, dass alle solche Zeiträume, die wir historische Zeiten nennen, nur ganz kurze Spannen sind im Vergleiche mit den ungeheuren Zeiten, welche die Welt zu verhältnissmässig geringen Umgestaltungen bedarf, so bleibt es immerhin ein wichtiges Ergebniss, dass ein Naturgesetz aufgefunden ist, welches mit Sicherheit schliessen lässt, dass in der Welt nicht Alles Kreislauf ist, sondern dass sie ihren Zustand fort und fort in einem gewissen Sinne ändert und so einem Grenzzustande zustrebt.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Abhandlungen
über die
mechanische Wärmetheorie
von
R. Clausius.

Erste Abtheilung.

Abhandlungen, welche die Begründung der mechanischen Wärmetheorie, nebst ihrer Anwendung auf die in die Wärmelehre gehörigen Eigenschaften der Körper und auf die Dampfmaschinentheorie enthalten; vervollständigt durch eine mathematische Einleitung und durch erläuternde Anmerkungen und Zusätze.

Zweite Abtheilung.

Abhandlungen über die Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf die elektrischen Erscheinungen, nebst einer Anleitung in die mathematische Behandlung der Elektricität, Abhandlungen über die zur Erklärung der Wärme angenommenen Molecularbewegungen und eine auf die allgemeine Theorie bezügliche Abhandlung; vervollständigt durch erläuternde Anmerkungen und Zusätze.

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis jeder Abtheilung 1 Thlr. 15 Sgr.

Diese Abhandlungen, welche seit dem Jahre 1850 nach und nach in physikalischen Zeitschriften, namentlich in Poggendorff's Annalen, dem wissenschaftlichen Publicum mitgetheilt wurden, werden hiermit, um sie bei dem erhöhten Interesse, welches die mechanische Wärmetheorie in neuerer Zeit gewonnen hat, leichter und allgemeiner zugänglich zu machen, in einer dem Inhalte nach geordneten Sammlung besonders herausgegeben. Obwohl diese Sammlung, soweit sie in dem vorliegenden Bande enthalten ist, nicht alle von dem Verfasser über die mechanische Wärmetheorie veröffentlichten Abhandlungen umfasst, so bildet sie doch unter denselben eine in sich abgeschlossene, von den übrigen unabhängige Gruppe, welche in dieser Vereinigung als ein selbständiges Werk gelten kann.

Die Abhandlungen sind in ihrer ursprünglichen Form wörtlich abgedruckt; aber zur Erleichterung des Verständnisses ist eine mathematische Einleitung vorausgeschickt, und an vielen Stellen sind Erläuterungen und weitere Ausführungen des Gesagten in der Form von besonders bezeichneten Anmerkungen oder von Zusätzen, welche den Abhandlungen folgen, beigefügt, wodurch es auch solchen Lesern, die mit mathematischen Operationen weniger vertraut sind, möglich gemacht wird, überall den Auseinandersetzungen zu folgen.

Die Theorie der Dampfmaschinen,
in welcher
die physikalischen Eigenschaften und die mechanischen Wirkungen des Dampfes von der ersten Ursache der Dampfbildung, von der Wärme, abhängig gemacht werden.
Von
Dr. Zernikow,
Lehrer an der Königlichen Provinzial-Gewerbeschule zu Erfurt.

gr. 8. Fein Velinpap. geh. Preis 1 Thlr. 10 Sgr.

Die Dampfmaschine ist von der anerkanntesten Bedeutung, ihre Verbreitung greift immer mehr um sich und immer tiefer in das gewerbliche Leben ein, ihre Wirksamkeit interessirt fast gleichzeitig alle Naturforscher und alle Industrielle,

ihre Construction beschäftigt die grosse Klasse der Maschinenbauer; die Theorie der Dampfmaschinen hat daher längst ein vielseitiges Interesse erregt und in Anspruch genommen.

Nichtsdestoweniger sind die bekannten Theorien über Dampfmaschinen, theils wegen ihrer fehlerhaften Endresultate von den Ingenieuren, theils wegen ihrer mangelhaften wissenschaftlichen Begründung von den Naturforschern längst als ungenügend bezeichnet worden. Die neue Theorie von Zernikow bietet diese Mängel nicht dar, da sie sich auf allgemeine und anerkannte Naturgesetze stützt, in der Entwickelung streng mathematisch fortschreitet, alle Eigenschaften des Dampfes in Betracht zieht, zur Entwickelung von Formeln führt, die äusserst einfach sind, und in der Anwendung Resultate liefert, die von den Versuchsresultaten aufs beste bestätigt werden.

Wir empfehlen daher das Werk den Physikern, Mathematikern, Ingenieuren, Technikern und Maschinenbauern, und Allen denen, die sich hierzu vorbereiten.

Lehrbuch

der

Ingenieur- und Maschinen-Mechanik.

Mit den nöthigen Hülfslehren aus der Analysis für den Unterricht an technischen Lehranstalten, sowie zum Gebrauche für Techniker,

bearbeitet von

Dr. phil. Julius Weisbach,

Königl. sächsischer Bergrath und Professor an der königl. sächsischen Bergakademie zu Freiberg; Ritter des königlich sächsischen Verdienstordens und des kaiserl. russ. St. Annenordens II. Classe, correspondirendes Mitglied der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg; Ehrenmitglied des Vereins deutscher Ingenieure, sowie correspondirendes Mitglied des Vereins für Eisenbahnkunde u. s. w.

In drei Theilen.

Erster Theil: Theoretische Mechanik. Vierte verbesserte und vervollständigte Auflage. Vollständig erschienen in 11 Lieferungen. Preis jeder Lieferung 15 Sgr.

Zweiter Theil: Statik der Bauwerke und Mechanik der Umtriebsmaschinen. Vierte Auflage. Erscheint in Doppellieferungen à 12 Bogen. Preis jeder Doppellieferung 1 Thlr.

Dritter Theil: Die Mechanik der Zwischen- und Arbeitsmaschinen, vollständig in 2 Abtheilungen erschienen. Preis zusammen 7 Thlr. 15 Sgr.

Jeder Band mit etwa 800 bis 1000 in den Text eingedruckten Holzstichen.
gr. 8. geh. Velinpap.

Mathematik und Naturlehre sind die Fundamente der Technik, und Mechanik insbesondere ist die Basis der Architektur und des Maschinenwesens. Die Mechanik des Ingenieurs muss, um ihrem Zweck zu entsprechen, praktisch sein, d. h. sie muss sich auf zuverlässige und genaue Beobachtungs-, Versuchs- und Erfahrungs-Resultate gründen und vorzüglich nur solche Erscheinungen, Gesetze, Verhältnisse und Combinationen berücksichtigen, welche im praktischen Leben, im Bau- und Maschinenwesen ihre Anwendung finden. So hat der Verfasser sich seine Aufgabe gestellt.

Das Werk hat eine so günstige Aufnahme gefunden, dass schon jetzt von demselben eine vierte Auflage nothwendig geworden ist. Der Verleger ist seinerseits bemüht gewesen, die Absichten des Herrn Verfassers durch eine reiche Ausstattung dieser neuen verbesserten und ergänzten Auflage des ersten Bandes, sowie durch einen bei der grossen Anzahl neuer Abbildungen sehr billigen Preis derselben möglichst zu fördern. Wir glauben diese ausgezeichnete Arbeit dringend empfehlen zu dürfen, im Besondern Denen, für welche sie zunächst bestimmt ist, den technischen Lehranstalten für den Unterricht, den Praktikern, den Ingenieurs, Maschinen- und Mühlenbauern, den Architekten, gebildeten Werkmeistern etc. als Handbuch zum Nachschlagen und zum Selbststudium.

Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig.

Grundriss der Physik und Meteorologie.

Für

Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen

sowie zum Selbstunterrichte,

von Dr. Joh. Müller,

Grossherzoglich Badischem Hofrath und Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

Neunte

vermehrte und verbesserte Auflage.

Mit 574 in den Text eingedruckten Holzstichen und einer Spectraltafel in Farbendruck.

gr. 8. Fein Velinpapier. geh. Preis 2 Thlr.

Müller's Lehrbuch der Physik hat in sechs sich rasch folgenden Auflagen für den Unterricht auf höheren Lehranstalten und für das tiefere Selbststudium, so ungetheilten Beifall, so weite Verbreitung gefunden, dass der Herr Verfasser von vielen Seiten angegangen wurde, einen kürzeren Grundriss für den Gebrauch an Lyceen, Gymnasien, Gewerbe- und Realschulen, wie auch für den ersten Selbstunterricht, folgen zu lassen; dieser wird hiermit dem Publikum in neunter erweiterter und verbesserter Auflage übergeben.

Auch dieses Werk hat sich sehr bald der allgemeinsten Anerkennung und Verbreitung zu erfreuen gehabt, und zwar in und ausserhalb Deutschlands, denn es sind Uebersetzungen in englischer, schwedischer und russischer Sprache erschienen.

Der Herr Verfasser spricht sich über die Stellung seines Buches u. A. in folgender Weise aus:

„Der „Grundriss der Physik und Meteorologie" trägt die Grundgesetze der Naturlehre in möglichst allgemein verständlicher Form und in einer dem jetzigen Standpunkte der Wissenschaft entsprechenden Weise vor. — Soll der naturwissenschaftliche Unterricht den vollen Nutzen gewähren, welchen man von ihm zu verlangen berechtigt ist, so reicht es nicht hin, dass der Schüler die einzelnen Thatsachen und Gesetze kennen lerne; er muss auch in den Geist der inductiven Wissenschaften, der physikalischen Methode, eingeführt werden. Deshalb war es nöthig, die wichtigsten Gesetze nicht allein aufzuzählen und verständlich zu machen, sondern auch ihre Verknüpfung mit den entsprechenden Erscheinungen, ihre Ableitung aus denselben gründlich nachzuweisen. Dadurch aber, dass mit Ausschluss von Specialitäten die Fundamentalerscheinungen und die aus ihnen entwickelten Gesetze in dem Buche mit genügender Ausführlichkeit abgehandelt werden, suchte ich diesen Grundriss nicht allein dem Bedürfniss der genannten Lehranstalten anzupassen, sondern es auch möglich zu machen, dass er jüngeren Pharmaceuten, Forstmännern, Landwirthen, Gewerbetreibenden u. s. w. als ein Buch für den ersten Unterricht genügen könne.

Ausser den Forderungen einer wissenschaftlichen Methode habe ich auch vorzugsweise die praktischen Anwendungen physikalischer Kräfte berücksichtigt und namentlich den Dampfmaschinen, den elektrischen Telegraphen u. s. w. eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Dem Bedürfniss nach einer weiter gehenden mathematischen Entwickelung der physikalischen Gesetze dürfte wohl am zweckmässigsten durch den mathematischen Supplementband entsprochen werden, dessen zweite Auflage gleichzeitig mit der neunten Auflage des Grundrisses erscheint.

Eine wesentliche Bereicherung hat die neunte, wie auch bereits die achte Auflage des Grundrisses, namentlich durch einen Anhang erhalten, welcher eine Sammlung von physikalischen Aufgaben enthält."

Wir empfehlen das vortreffliche Werk den Schulbehörden und allen denen, welchen ein kurzer Ueberblick der Physik von Wichtigkeit ist.

Um dem Werke die weiteste Verbreitung anzubahnen und die Einführung in die Lehranstalten zu erleichtern, ist der Preis, trotz der grossen Anzahl (574) sorgsam ausgeführter Abbildungen und der nicht unbedeutenden Bereicherung des Inhaltes nicht höher als 2 Thlr. gestellt und ist jede Buchhandlung in den Stand gesetzt, auf 6 auf einmal bezogene Exemplare ein Frei-Exemplar zu liefern.